«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,

профессор РАН, доктор физико-математических наук,

_____ А.А. Федянин

25 сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова» на диссертационную работу Заиграева Никиты Михайловича «N = 2 суперсимметричная теория высших спинов в гармоническом суперпространстве», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Актуальность направления исследований. Диссертационная работа Н.М. Заиграева посвящена исследованию теорий высших спинов с расширенной N=2 суперсимметрией. Данные исследования актуальны для решения различных задач теоретической и математической физики, в частности задач, связанных с низкоэнергетическим пределом теории струн и голографической дуальностью. В диссертации развивается суперполевой подход к N=2 теориям высших спинов вне массовой оболочки с использованием гармонического суперпространства. В частности, построены супермультиплеты высших спинов в терминах аналитических суперполей без связей в неконформном и конформном случаях. Затем, на основе этих результатов в диссертации построены свободные суперполевые теории высших спинов, получены суперполевые уравнения движения, определяемые ими, представлены кубические взаимодействия высших спинов с гипермультиплетом, получены суперполевые токи высших спинов для гипермультиплета, предложены и применены методы компонентной редукции суперполевых действий для N=2 высших спинов. Результаты диссертации открывают новую область для применения методов гармонического суперпространства – теорию высших спинов.

Структура диссертации. Диссертация Н.М. Заиграева состоит из введения, шести глав основного текста, заключения, двух приложений и списка литературы. Полный объем

диссертации составляет 195 страниц текста и не содержит рисунков. Во **введении** обоснована актуальность темы исследований, её научная новизна, описаны цели и задачи диссертационной работы, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены статьи по материалам диссертации и выступления на семинарах и конференциях, подтверждающие апробацию полученных результатов.

В **первой главе** определяется гармоническое суперпространство, вводится аналитическое суперпространство как его инвариантное подпространство, и строятся ковариантные гармонические производные, играющие ключевую роль в формулировке калибровочных теорий в гармоническом суперпространстве. Также здесь приводятся формулировки основных N=2 суперсимметричных теорий (гипермультиплета, векторного мультиплета и супергравитации) вне массовой оболочки в терминах аналитических суперполей.

Вторая глава посвящена построению свободной $N = 2$ теории высших спинов в гармоническом суперпространстве. В главе исследуется линеаризация N=2 супергравитации вне массовой оболочки: определяется набор аналитических препотенциалов без связей, их калибровочные и суперсимметричные законы преобразования, компонентный состав в калибровке Весса-Зумино, строится инвариантное суперполевое действие, производится его компонентная редукция. Затем полученные результаты обобщаются на случай высших спинов: вводится набор аналитических препотенциалов, их калибровочные и суперсимметричные преобразования, находится их компонентный состав вне массовой оболочки. Приводится инвариантное линеаризованное суперполевое действие, на уровне компонент (после исключения вспомогательных полей) сводящееся к сумме действий Фронсдала и Фэнга-Фронсдала.

Третья глава посвящена выводу суперполевых уравнений движения для N=2 суперсимметричной теории высших спинов. Уравнения движения выводятся двумя эквивалентными способами: вариацией по аналитическим препотенциалам и по препотенциалам типа Мезинческу, которые определяются в этой главе.

В **четвертой главе** строятся кубические взаимодействия N=2 высших спинов с гипермультиплетом вне массовой оболочки. Вначале формулируются ограничения, которые накладывают требования суперсимметричной инвариантности, аналитичности и калибровочной инвариантности на возможную структуру кубического взаимодействия. Затем кубическая вершина полностью фиксируется через локализацию глобальных симметрий гипермультиплета. Полученные вершины имеют нётеровскую форму: калибровочные поля умножаются на суперполевые токи. В главе также исследуется компонентный состав полученных вершин. Построенные взаимодействующие вершины согласованы в лидирующем порядке по константе взаимодействия.

В **пятой главе** исследуются глобальные симметрии действия гипермультиплета. Выводится их алгебраическая структура, приводится вид преобразований (на примере

преобразований с параметром спина 3/2) компонентных полей гипермультиплета. С использованием N=2 суперполевой теоремы Нётер выявляется связь глобальных симметрий гипермультиплета и сохраняющихся суперполевых токов. Анализируется компонентный состав суперполевых токов и компонентные законы сохранения, которые следуют из суперполевых законов сохранения.

Шестая глава посвящена изучению N=2 суперконформных мультиплетов высших спинов в гармоническом суперпространстве. Для определения аналитических препотенциалов суперконформной теории рассматривается наиболее общая кубическая вершина высших спинов с гипермультиплетом вне массовой оболочки, согласованная с суперконформной симметрией. После этого определяются калибровочные преобразования суперполей конформных высших спинов. Используя калибровочную свободу, фиксируется калибровка типа Весса-Зумино, в которой получается компонентный состав N=2 суперконформных мультиплетов высших спинов. На уровне компонент мультиплет состоит из конформных полей Фрадкина-Цейтлина. Затем исследуется бесконечная башня высших спинов, взаимодействующая с гипермультиплетом. Показано, что она является полностью согласованной во всех порядках по константам взаимодействия и приводятся неабелевы калибровочные преобразования, перемешивающие входящие в нее суперполя.

В **Заключении** кратко описываются полученные результаты, положения, выносимые на защиту, и обозначаются наиболее интересные и перспективные направления для дальнейших исследований по теме диссертации.

В целом, рассматриваемая диссертация представляет собой законченную научную работу, выполненную по актуальной тематике. Результаты, полученные в диссертации, представляют существенный интерес в контексте исследования теорий высщих спинов с расширенной суперсимметрией.

Результаты работы являются новыми и находятся в полном соответствии с результатами полученными другими авторами. По материалам диссертации автором опубликовано 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты исследований докладывались автором на научных семинарах и конференциях. Все работы выполнены при непосредственном участии диссертанта, и его вклад в эти работы является определяющим. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации и опубликованным статьям, и в полной мере отражает основные положения диссертации.

Замечания к диссертационной работе:

1. Утверждение о том, что «в 1973 Весс и Зумино [79] построили первые суперсимметричные теории» на стр. 15 неверно. Первая суперсимметричная теория в D=4 была построена в 1971 году в работе Гольфанда и Лихтмана [77].

2. В диссертации не был исследован компонентный состав предложенных действий в фермионом секторе.

3. Диссертант не рассматривал мультиплеты высших спинов со старшим полуцелым спином и их гармоническую суперпространственную формулировку. Построение таких моделей открыло бы путь к построению суперполевых моделей с N>2 суперсимметриями в терминах N=2 суперполей.

Эти замечания, однако, не снижают научной ценности, масштаба проделанной работы и значимости полученных результатов.

Диссертационная работа Н.М. Заиграева является научной квалификационной работой и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Заиграев Никита Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

Результаты диссертации были доложены на научном семинаре кафедры теоретической физики физического факультета МГУ. Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры 13 мая 2024 года (протокол № 7).

Отзыв составил:

Профессор кафедры теоретической физики
физического факультета МГУ
доктор физико-математических наук Анатолий Викторович Борисов

И.о. заведующего кафедрой теоретической физики
физического факультета МГУ
доктор физико-математических наук, профессор Владимир Викторович Белокуров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Физический факультет, кафедра теоретической физики
Адрес: 119991, Ленинские горы, д.1, строение 2, МГУ имени М. В. Ломоносова,
Телефон +7(495)939-31-77
Адрес электронной почты: kaf-theorphys@physics.msu.ru
23 сентября 2024 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Адрес: 119991, Ленинские горы, д.1, МГУ имени М. В. Ломоносова,
Телефон +7(495)939-10-00
Адрес электронной почты: info@rector.msu.ru
23 сентября 2024 г.

Список основных работ сотрудников ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова» по тематике диссертации Н.М. Заиграева «N=2 суперсимметричная теория высших спинов в гармоническом суперпространстве» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Mikhail Kuzmichev, Nikolai Meshcheriakov, Sergey Novgorodtsev, Ilya Shirokov, Konstantin Stepanyantz. Finiteness of the two-loop matter contribution to the triple gauge-ghost vertices in N=1 supersymmetric gauge theories regularized by higher derivatives // Phys.Rev.D. — 2021. — Vol. 104. no. 2 — 025008 P. — 2102.12314.

2. I.L.Buchbinder, E.A.Ivanov, B.S.Merzlikin, K.V.Stepanyantz. On the two-loop divergences in 6D, N=(1,1) SYM theory // Phys. Lett. B. — 2021. — Vol. 820. — 136516 P. — 2104.14284.

3. D.Korneev, D.Plotnikov, K.Stepanyantz, N.Tereshina.The NSVZ relations for N = 1 supersymmetric theories with multiple gauge couplings // JHEP.— 2021.— Vol.10. — 046 P. — 2108.05026.

4. I.Shirokov, K.Stepanyantz. The three-loop anomalous dimension and the four-loop β-function for N = 1 SQED regularized by higher derivatives // JHEP. — 2022. — Vol.04. — 108 P. — 2203.01113.

5. O.Haneychuk, V.Shirokova, K.~Stepanyantz. Three-loop β-functions and two-loop anomalous dimensions for MSSM regularized by higher covariant derivatives in an arbitrary supersymmetric subtraction scheme // JHEP. — 2022. — Vol.09. — 189 P. — 2207.1194.

6. I.L.Buchbinder, E.A.Ivanov, B.S.Merzlikin, K.V. Stepanyantz. On two-loop divergences of effective action in 6D, N = (1, 1) SYM theory // JHEP. — 2023. — Vol.05. — 089 P. — 2212.03766.

7. N.Meshcheriakov, V.Shatalova, K.Stepanyantz. Higher logarithms and ε-poles for the MS-like renormalization prescriptions // JHEP. — 2023.— Vol.12. — 097 P. — 2310.05610.

8. I.L.Buchbinder, S.A.Fedoruk, A.P.Isaev, M.A.Podoinitsyn. Massless finite and infinite spin representations of Poincare group in six dimensions // Phys. Lett. B. — 2021. — Vol.813. — 136064 P. — 2011.14725.

9. I.L.Buchbinder, S.A.Fedoruk, A.P.Isaev, V.A.Krykhtin. On the off-shell superfield Lagrangian formulation of 4D, N=1 supersymmetric infinite spin theory // Phys. Lett. B. — 2022. — Vol.829. — 137139 P. — 2203.12904.

10. I.L.Buchbinder, S.A.Fedoruk, A.P.Isaev, V.A.Krykhtin. Infinite (continuous) spin particle in constant curvature space // Phys. Lett. B. — 2024. — Vol.853.— 138689 P. —2402.13879.

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,

профессор РАН, доктор физико-математических наук,

_____ А.А. Федянин